Über die Messung von Dielektrizitätskonstanten wäßriger Elektrolytlösungen mit der Fürth'schen Ellipsoidmethode

Verkürzte Fassung der

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der

Mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung

der Philosophischen Fakultät der Universität Basel

von

Theodor Lin

aus Berlin

1 9 3 6

Johann Ambrosius Barth in Leipzig

Genehmigt von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der philosophischen Fakultät auf Antrag der Herren Professoren Hagenbach und Zickendraht.

Basel, den 6. März 1936

Professor A. Bernoulli
Dekan

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Herrn Theodor Lin wurde von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der philosophischen Fakultät der Universität Basel am 6. März 1936 erlaubt, diese verkürzte Fassung seiner Inaugural-Dissertation drucken zu lassen. Die vollinhaltliche Arbeit mit dem Titel:

Messungen der Dielektrizitätskonstanten von Elektrolytlösungen mit der Fürth'schen Ellipsoidmethode

kann eingesehen oder entliehen werden:

1. im physikalischen Institut der Universität Basel;
2. in der Universitätsbibliothek Basel;
3. in der Schweizerischen Landesbibliothek in Bern.

Sonderdruck aus „Annalen der Physik" 5. Folge, Band 26, Heft 6. 1936

Printed in Germany

§ 1. Frühere Untersuchungen mit der Ellipsoidmethode

In den letzten Jahren ist eine große Zahl von Untersuchungen über die DEK. wäßriger Elektrolytlösungen mit den verschiedensten Meßmethoden angestellt worden[1]). Bei den meisten dieser Methoden muß die Messung mit Hilfe von hochfrequenten Wechselfeldern (von 10^6—10^9 Hz) durchgeführt werden, wenn man bis zu einigermaßen gut leitenden Lösungen vordringen will. Dies bedingt, daß man mit diesen Methoden die DEK. und ihre Abhängigkeit von der Frequenz, die „Dispersion der DEK.", nur in dem erwähnten Frequenzbereich untersuchen kann. Bei Elektrolytlösungen ist wahrscheinlich auch eine Dispersion im Gebiete niedrigerer Frequenzen vorhanden; will man diese messend verfolgen bzw. die „statische" DEK. bestimmen, so ist man genötigt, die sogenannten „Kraftwirkungsmethoden" zu verwenden, die prinzipiell von der Frequenz des benützten Wechselfeldes unabhängig sind[2]).

Fast allen neueren Untersuchungen mit Hilfe von Kraftwirkungsmethoden liegt die von R. Fürth[2]) angegebene „Ellipsoidmethode" zugrunde. Die ersten provisorischen Messungen nach dieser Methode wurden von Fürth selbst[3]), spätere genauere Messungen von R. Pechhold[4]), ferner von O. Milicka und A. Slama[5]) angestellt. Eine große Anzahl von Lösungen von Salzen, Säuren und Basen wurde auf diese Weise bis zu Leitfähigkeiten von 10^{-2} Ohm^{-1} cm^{-1} mit Frequenzen

---

1) Literaturübersicht u. a. bei O. Blüh, Ztschr. f. phys. Chem. **22**. S. 263. 1934 u. E. Fischer, Phys. Ztschr. **17**. S. 585. 1935.

2) Vgl. u. a. R. Fürth, Ztschr. f. Phys. **22**. S. 98. 1924; **44**. S. 256. 1927.

3) R. Fürth, Phys. Ztschr. **25**. S. 676. 1924.

4) R. Pechhold, Ann. d. Phys. **83**. S. 427. 1927.

5) O. Milicka u. A. Slama, Ann. d. Phys. [5] **8**. S. 663. 1931; R. Fürth, Phys. Ztschr. **32**. S. 184. 1931.

zwischen 50 und 2200 Hz untersucht, wobei sich durchwegs für die Abhängigkeit der DEK. von der Konzentration das folgende typische Bild ergab: Zunächst ein starker Abfall bis zu Konzentrationen von einigen Tausendstel normal, darauf nach Durchlaufen eines oder mehrerer Minima ein allmählicher Wiederanstieg der DEK., mitunter bis über den Wasserwert hinaus.

Weitere Untersuchungen wurden von W. Orthmann[1]) durchgeführt. Um eine der wichtigsten Fehlerquellen der Ellipsoidmethode, nämlich die infolge der Stromwärme in der Flüssigkeit hervorgerufene Konvektionsströmung, zu beseitigen, entwickelte er ein ballistisches Meßverfahren, bei dem die Spannung an den Flüssigkeitskondensator nur kurzzeitig angelegt und der Maximalausschlag des Ellipsoids beobachtet wird, während bei dem früher verwendeten statischen Meßverfahren der stationäre Endausschlag des Ellipsoids zur Beobachtung gelangt. Diese ballistische Methode wurde auch teilweise von Milicka und Slama verwendet. Orthmann benützte ferner zwei parallel geschaltete, gleichgebaute Instrumente, von denen das eine mit der zu messenden, das andere mit einer Vergleichslösung gefüllt war und deren gleichzeitige Ausschläge miteinander verglichen wurden. Um Fehler durch elektrolytische Polarisation am Ellipsoid und den Kondensatorplatten zu vermeiden, wurden dieselben aus Silber hergestellt und ausschließlich Silbersalze gemessen, während Pechhold, Milicka und Slama zur Vermeidung der Polarisation als Material für das Ellipsoid und die Kondensatorplatten gut platiniertes Platin verwendet hatten. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der letzteren Autoren zeigten die von Orthmann untersuchten Lösungen bei Frequenzen zwischen 50- und 10000 Hz eine monotone Abnahme der DEK. mit wachsender Konzentration bis zu etwa 0,1 Mol/Liter, ferner bei den konzentriertesten Lösungen auch eine Abhängigkeit der DEK. von der Frequenz.

Die Prager Messungen wurden in der Folge von Frl. M. Lederer fortgeführt. Sie hatten in erster Linie den Zweck, die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen nach der Ellipsoidmethode und denen nach anderen Methoden und zwischen den Prager und Berliner Messungen aufzuklären. Da von Fürth[2]) die Vermutung ausgesprochen worden war, daß die ersteren Diskrepanzen auf die Verschiedenheit der zur Messung benützten Frequenzen zurückzuführen seien, wurden zunächst die Messungen mit der gegenüber

1) W. Orthmann, Ann. d. Phys. [5] **9**. S. 537. 1931.
2) R. Fürth, Phys. Ztschr. **32**. S. 184. 1931.

der früheren Ausführung nur unwesentlich veränderten Ellipsoidapparatur wieder aufgenommen, wobei jedoch statt der niederfrequenten hochfrequente Wechselfelder von $2 \cdot 10^5$—10^6 Hz verwendet werden sollten. Hierbei wurde ebenfalls mit der ballistischen Methode gearbeitet und ferner ein von Orthmann angegebener Kunstgriff benützt, um die an der Eintauchstelle des Ellipsoidträgers in die Flüssigkeit auf ihn wirkenden Kräfte der Oberflächenspannung nach Tunlichkeit zu beseitigen.

Die ausgedehnten und von Frl. Lederer sehr sorgfältig durchgeführten Voruntersuchungen mit Niederfrequenz zeigten nun zunächst, daß die Resultate der vorhergehenden Untersuchungen der Prager Autoren mit platinierten Platinellipsoiden und Kondensatorplatten höchstwahrscheinlich durch eine systematische Fehlerquelle entstellt wurden, die nicht beachtet worden war, so daß ihre Ergebnisse nicht aufrecht erhalten werden können: Die starke Adsorption des Platinmohrs bewirkt nämlich, daß an der Oberfläche des Ellipsoids und der Kondensatorplatten die Ionenkonzentration eine ganz andere ist, als in den übrigen Teilen der Lösung, was ebenso wirkt, als ob sich das Ellipsoid in einem Medium von ganz anderer DEK. befände. Frl. Lederer konnte nachweisen, daß sich eine scheinbare, regelmäßige Zu- und Abnahme der DEK. mit der Konzentration direkt erzeugen läßt, wenn man nur die Messungen in einer bestimmten, entsprechenden Reihenfolge ausführt.

Es wurde daher bei den folgenden Untersuchungen mit Hochfrequenz von einer Platinierung des Ellipsoids und der Kondensatorplatten abgesehen und mit blankem Platin gearbeitet. Dies erschien ohne weiteres statthaft, da ja die Platinierung nur zum Zwecke der Vermeidung einer elektrolytischen Polarisation bei Niederfrequenz eingeführt worden war, die bei Hochfrequenz sicher unmerklich klein sein muß. In der Tat ließen sich nun die starken Erniedrigungen der DEK. bei kleinen Konzentrationen und die Minima, die von den Prager Autoren früher gefunden worden waren, nicht mehr reproduzieren, es ergaben sich vielmehr innerhalb des untersuchten Konzentrationsbereiches bis zu etwa 0,02 Mol/Liter nur Änderungen der DEK. von wenigen Prozenten.

Dieser veränderten Sachlage entsprechend mußte nun allerdings zur Erzielung sicherer Resultate die Meßgenauigkeit der Methode wesentlich erhöht werden. Es waren zu diesem Zwecke zunächst zwei Fehlerquellen zu beseitigen, die eine empfindliche Beeinträchtigung der Meßgenauigkeit bewirkt hatten. Die erste bestand in den ziemlich starken Schwankungen der Netzspannung, mit der der Hochfrequenzgenerator betrieben wurde, welche zu entsprechenden Schwan-

kungen der Spannung zwischen den Platten des Meßkondensators Anlaß gaben; da das vom Wechselfeld auf das Ellipsoid ausgeübte Drehmoment quadratisch von dieser Spannung abhängt, wurde durch diesen Umstand eine starke Streuung der Einzelwerte der Ellipsoidausschläge bewirkt. Die zweite Fehlerquelle bestand darin, daß die Vorrichtung, die zur Erzeugung der für die Anwendung der ballistischen Methode benötigten kurzen Stromstöße diente, nicht exakt genug arbeitete, so daß die Dauer dieser Stromstöße von einer Messung zur anderen sich etwas veränderte; dies muß, wie man unmittelbar einsieht, ebenfalls eine vergrößerte Streuung der Einzelablesungen des Ellipsoidausschlages hervorrufen. Die beiden erwähnten Fehlerquellen fallen zwar fort, wenn man die Orthmannsche Methode der Doppelmessung mit zwei Instrumenten benützt; die Verwendung zweier Ellipsoidanordnungen statt einer bringt jedoch wieder andere Nachteile mit sich, so daß diese Methode nicht angewendet und die Spannung, wie früher, mit einem Hitzdrahtinstrument gemessen wurde. Im Stadium der Versuche zur Eliminierung der erwähnten Fehlerquellen wurde die Arbeit aus äußeren Gründen von Frl. Lederer abgebrochen und von mir übernommen. Über die hierbei erzielten Ergebnisse wird in den folgenden Paragraphen berichtet.

In der Zwischenzeit wurden auch die Versuche von Orthmann von zweien seiner Schüler, G. Fischer und W. Schaffeld[1]), weitergeführt. Sie zeigten zunächst, daß kleine Verunreinigungen der Ellipsoidoberfläche beträchtliche Veränderungen des Ausschlages in Abhängigkeit von der Frequenz bewirken und daher eine scheinbare Abhängigkeit der DEK. der zu untersuchenden Lösungen von der Konzentration und der Frequenz vortäuschen können. Sie gingen daher ebenfalls von der Verwendung von platiniertem Platin als Ellipsoidmaterial ab und benützten in der Folge als Material reines, oberflächlich gut gereinigtes Gold.

Untersucht wurden die wäßrigen Lösungen von NaCl, NaJ, $NaNO_3$, KNO_3, $AgNO_3$, HNO_3, HCl und H_2SO_4 bis zu 0,1 Mol/Liter, die durchweg eine Abnahme der DEK. mit wachsender Konzentration ergaben, die sich durch Formeln von der Gestalt $\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + \alpha \sqrt{c} - \beta c)$ darstellen lassen.

§ 2. Beschreibung der Versuchsanordnung

Die benützte Versuchsanordnung ist in organischer Fortbildung der früher von Fürth, Pechhold und Milicka und Slama be-

1) G. Fischer, Dissertation Berlin 1934; W. Schaffeld, Dissertation Berlin 1935; G. Fischer u. W. D. Schaffeld, Ann. d. Phys. [5] **25**. S. 450. 1936.

nützten Apparatur entstanden, die in den oben zitierten Veröffentlichungen dieser Autoren beschrieben sind. Sie bestand a) aus dem Meßkondensator mit dem Ellipsoid und den zugehörigen Füll-, Schutz- und Ablesevorrichtungen, b) dem Hochfrequenzgenerator mit Gleichrichter, c) der Apparatur zur Regulierung und Messung

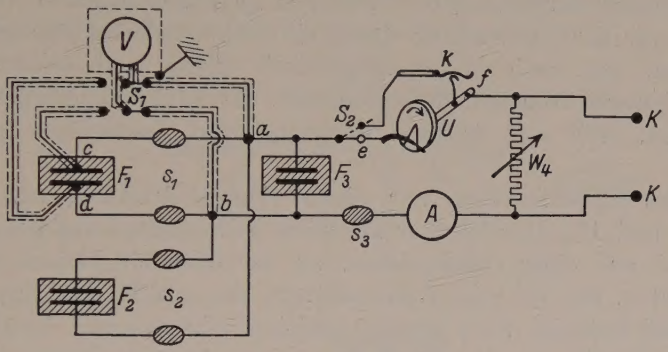

Fig. 1. Die Meßanordnung

der Kondensatorspannung, d) dem rotierenden Unterbrecher zur Erzeugung der ballistischen Spannungsstöße. Das allgemeine Schaltungsschema ist aus der Fig. 1 ersichtlich.

a) Der Meßkondensator und das Ellipsoid

Der Meßkondensator bestand aus einer optischen Küvette mit den Abmessungen $10 \times 10 \times 3$ cm und zwei Platten aus dünnem Platinblech in der Größe 9×9 cm. Letztere waren der größeren Stabilität wegen mit Siegellack auf dünnen Glasplatten festgekittet und wurden durch eine Glasfeder an die Küvettenwand angepreßt, damit sie ihre Lage nicht ändern konnten. Die Glasplatten hatten seitliche Aussparungen und trugen auf der Rückseite an den vier Ecken kleine Glasplättchen von 1 mm Stärke, so daß zwischen Küvettenwand und Glasplatten ein Abstand vorhanden war und so ein gutes Ausspülen ermöglicht wurde. Beim Wechsel der Lösungen, der mit Hilfe eines Abfluß- und Zuflußrohres geschah, blieb der Kondensator mit Platten und Ellipsoid unverändert stehen.

In die Küvette tauchten ein: an einem Ende ein Thermometer und ein in der Höhe verschiebbarer Verdränger, am anderen Ende das Einfüll- und das Absaugrohr, in der Mitte das Ellipsoidgehänge. In der Nähe desselben befand sich eine Platinspitze; mit Hilfe des Verdrängers wurde der Flüssigkeitsspiegel so eingestellt, daß er die Spitze gerade von unten berührte. Damit war eine genaue Einfüllhöhe festgelegt.

Die Küvette befand sich in einem Thermostaten von 6 Liter Wasserinhalt und war gegen die Außenluft staubdicht abgeschlossen. Die Durchführungen für das Thermometer, den Verdränger, die verstellbare Niveauspitze, das Zu- und Abflußrohr, sowie für die vier elektrischen Leitungen waren ebenfalls staubdicht ausgeführt. Das gesamte zur Herstellung der Lösungen benützte destillierte Wasser wurde vor der Verwendung durch ein Schottsches Filter gesaugt, all das, um nach bester Möglichkeit Staub und andere Verunreinigungen von der Eintauchstelle des Ellipsoidgehänges fernzuhalten, weil das zu ganz unregelmäßigen Ausschlägen geführt hätte.

Das Ellipsoidsystem war mittels eines Quarzfadens von 20 cm Länge und 15 μ Durchmesser an einem Torsionskopf angehängt. Es bestand aus einer Glaskapillare, an der oben ein kleiner Spiegel und unten, um 45° gegen ihn verdreht, das aus Platin hergestellte Ellipsoid befestigt war, das die gleichen Abmessungen besaß, wie das seinerzeit von Pechhold benützte. An der Durchstoßstelle durch die Flüssigkeitsoberfläche war die Glaskapillare durch ein kurzes Stück Quarzfaden unterbrochen, um die hemmenden Kräfte der Oberflächenspannung, die nie vollkommen symmetrisch auftreten, möglichst klein zu halten. Unterhalb des Spiegels war ein kleiner Querbalken angekittet, der von einer Arretiergabel etwas gehoben werden konnte, so daß dann der obere Quarzfaden entlastet war. Arretiert wurde stets beim Wechsel der Lösungen. Um das sehr empfindliche System vor Luftströmungen zu schützen, war es vom Torsionskopf bis dicht oberhalb der Flüssigkeit eingekapselt. Das Ellipsoid war an die Glaskapillare angeschmolzen, die übrigen Verbindungen waren mit weißem Siegellack ausgeführt.

Die Ablesung der Ellipsoidausschläge erfolgte, wie früher, mit Spiegel und Skala. Der Thermostat mit dem Meßkondensator und seinen Hilfseinrichtungen war von einem Gehäuse aus Eisenblech umgeben; dieses diente sowohl zum Schutz gegen eine etwaige direkte elektrische Beeinflussung des Ellipsoids von Seiten des Senders, als auch dazu, die unvermeidlichen Luftströmungen abzuschwächen. Um Gebäudeerschütterungen von der Apparatur fernzuhalten, war diese mittels einer Wandkonsole an einem freistehenden Grundpfeiler befestigt.

b) Der Hochfrequenzgenerator

Zur Erzeugung des hochfrequenten Wechselstromes wurde ein Glühkathodensender mit einer Leistung von maximal 50 Watt benützt. Seine Schaltung ist in der Fig. 2 wiedergegeben.

Die Philips-Senderöhre LV 3 benötigte 6 Amp. Heizstrom und 1600—2000 Volt Anodenspannung. Die Heizung erfolgte mit einer Akkumulatorenbatterie von großer Kapazität, ihre Veränderung durch die drei parallel geschalteten Widerstände W_1, W_2 und W_3, von denen die beiden letzteren neben dem Beobachtungsplatz standen und, da sie klein gegen W_1 waren, eine sehr feine Regulierung des Heizstromes und damit der Schwingspannung gestatteten.

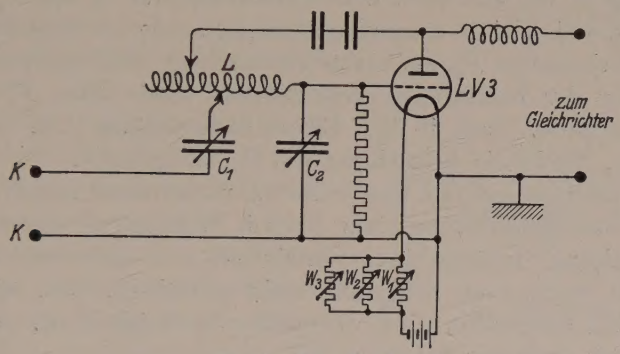

Fig. 2. Der Sender

Die Kondensatoren C_1, C_2 und die Spule L waren mit Abgriffen versehen, so daß der Sender auf die Wellenlängen 300, 400, 600 und 1200 m eingestellt werden konnte. Der aus einem Transformator (Škoda) und einem Philips-Glühventil G 3 in gewöhnlicher Einwegschaltung bestehende Gleichrichter konnte sowohl vom Netz — 50 per. Wechselstrom — als auch von einem besonderen Wechselstromgenerator aus betrieben werden.

Der Widerstand W_4 (Fig. 1) gab dem Sender eine gewisse Dauerbelastung. F_3 war ein Flüssigkeitskondensator mit veränderlichem Plattenabstand. Befand sich im Meßkondensator F_1 eine Lösung von hoher Konzentration, so wurde F_3 mit einer schwach konzentrierten Lösung gefüllt und umgekehrt, so daß die vom Sender entnommene Leistung in allen Fällen die gleiche war. Eine einfache Kontrolle hierüber war dadurch gegeben, daß das Hitzdrahtamperemeter A bei allen Konzentrationen den gleichen Strom anzeigen mußte, sofern das Voltmeter V die gleiche Spannung zwischen den Punkten a, b angab.

c) Die Spannungseinrichtung

Wegen der nicht vermeidbaren Netzschwankungen ergab sich die Notwendigkeit, die Spannung vor jedem einzelnen ballistischen Einschalten zu kontrollieren, bzw. zu regulieren. Hierbei durfte

aber der Meßkondensator F_1 selbst nicht eingeschaltet werden, da das darin befindliche Ellipsoid sonst einen Ausschlag gemacht hätte. Es wurde also ein weiterer Flüssigkeitskondensator F_2 mit veränderlichem Plattenabstand hergestellt und dieser ebenfalls mit der zu untersuchenden Lösung gefüllt. Mit Hilfe von zwei Paar Schaltern s_1 und s_2 konnte wahlweise F_1 oder F_2 an den Sender gelegt werden. Nachdem nun der Plattenabstand von F_2 so eingestellt war, daß das Voltmeter V vor und nach dem Umschalten von s_1 und s_2 für die Punkte a, b die gleiche Spannung anzeigte, wurde die Senderspannung bei angeschaltetem F_2 auf einen gewünschten Wert gebracht. Für die Dauer der ballistischen Einschaltzeit wurde dann F_1 an- und F_2 abgeschaltet. Nach je fünf Ellipsoidausschlägen, d. h. nach etwa je 5 Min., wurde die Einstellung von F_2 nachgeprüft.

s_1 und s_2 waren als Quecksilbervakuumschalter ausgeführt und wurden vom Beobachtungsplatz aus mit Fadenzügen bedient. Diese Art Schaltung verbürgt einen ständig guten Kontakt und läßt sich zu einem bestimmten Zeitpunkt exakt ausführen, was, wie weiter unten noch ausgeführt wird, von großer Wichtigkeit ist. s_3 ist ein ebensolcher einfacher Schalter.

Das Hitzdrahtvoltmeter V (Hartmann und Braun) konnte (Fig. 1) mit Hilfe des Umschalters S_1 an die Punkte a, b oder c, d angelegt werden. Um Induktionswirkungen fernzuhalten, war es in einem Blechgehäuse untergebracht und seine Zuleitungen waren in starkwandigem Messingrohr verlegt. Der Standort des Voltmeters war vom Beobachtungsplatz entfernt, in der Nähe von s_1 und es wurde deshalb mit einem Fernrohr und zwei Lupen, eine für den Nullpunkt und eine für den Ausschlag, abgelesen.

Der Nullpunkt von V änderte sich etwas, je nachdem, ob das Instrument in Ruhe war oder längere Zeit hintereinander, während der Messungen, dauernd ein- und ausgeschaltet wurde; das ließ sich dadurch vermeiden, daß in den Pausen zwischen den Messungen, z. B. nach dem Einfüllen frischer Lösung, dem Instrument mit Hilfe des Kontaktes k auf der Achse der Unterbrecherscheibe und des Umschalters S_2 in regelmäßigem Rhythmus Spannungsstöße erteilt wurden.

d) Der Unterbrecher

Die Unterbrecherscheibe U wurde nach Fig. 3 ausgeführt. Eine kreisrunde Hartgummiplatte war auf einer Seite mit 2 mm starkem Messingblech bekleidet. Dieses bedeckte jedoch das Hartgummi nicht vollständig, sondern ließ einen Sektor frei, der in der Mitte eine Zunge Z aus Nickelblech enthielt und seitlich davon

zwei Zungen Z' und Z'' aus Isoliermaterial (Bein), alles 2 mm stark. Die vier Teile waren genau ineinander gepaßt und bekamen durch Feilen und Schmirgeln eine schöne, gleichmäßige Oberfläche.

Nickelzunge und Messingblech waren mit der metallischen Achse der Unterbrecherscheibe leitend verbunden. Über einen Schneckentrieb wurde diese von einem kleinen Synchronmotor angetrieben und machte pro Minute eine Umdrehung. Dabei schleifte ein in einer Stahlfeder A_1 vernieteter Eisenstift E mit kleiner Fläche über die Scheibe dahin und vermittelte zwischen den Punkten e und f der Fig. 1 Kontakt, außer in den Momenten, wo sich der Stift gerade über dem Isoliermaterial befand. Durch Schwenken der Stahlfeder konnte die Berührungszeit zwischen Eisenstift und Nickelzunge, das ist die ballistische Einschaltzeit, von 0,5—2 Sek. verändert werden. Um Funkenbildung beim Öffnen und Schließen des Kontaktes zu vermeiden, lief die Unterbrecherscheibe in einem Ölbad.

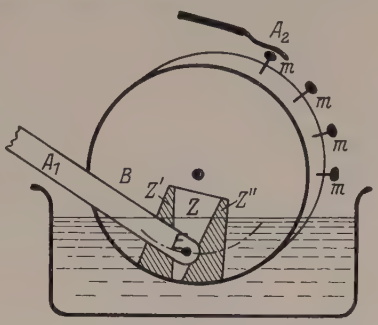

Fig. 3. Die Unterbrecherscheibe

Auf der Rückseite der Unterbrecherscheibe war eine Signalvorrichtung angebracht: Vier kleine Metallstifte m hoben bei der Drehung eine zweite Stahlfeder A_2 und verursachten beim Niedergang derselben viermal ein leichtes Knacken.

§ 3. Der Meßvorgang

Der Schaltvorgang während der Messungen war nun der folgende:

1. Signal: *Einschalten von* s_3 (dabei ist s_1 aus- und s_2 eingeschaltet). Der Eisenstift E befindet sich über dem Messing, ungefähr an der Stelle B, und das Voltmeter gibt einen Ausschlag. *Dieser wird mit Hilfe von* W_2 *und* W_3 *auf die gewünschte Höhe gebracht.*

2. Signal: *Der Beobachter wendet das Auge vom Voltmeterfernrohr weg und schaut in das zweite Fernrohr,* um den Nullpunkt der Spiegelskala für den gleich darauf stattfindenden Ellipsoidausschlag abzulesen.

3. Signal: Der Eisenstift hat gerade das Messingblech auf der Unterbrecherscheibe verlassen und befindet sich über dem ersten Isolierstreifen Z'. s_1 *wird ein- und* s_2 *gleichzeitig ausgeschaltet.*

Der Eisenstift gibt Kontakt mit der Nickelzunge Z, das Ellipsoid schlägt aus.

4. Signal: Der Eisenstift hat gerade die Nickelzunge verlassen und befindet sich über dem zweiten Isolierstreifen Z''. *s_1 wird aus- und s_2 gleichzeitig eingeschaltet, s_3 wird ausgeschaltet.* Der Ellipsoidausschlag erreicht jetzt sein Maximum, *dieses wird abgelesen.* Die Apparatur ist für den nächsten Ausschlag bereit.

Die ballistische Einschaltzeit betrug in der Regel ungefähr 0,8 Sek. Nach je fünf Ausschlägen wurde, wie bereits erwähnt, der Hilfskondensator F_2 nachreguliert. Jede *Messung* bestand aus der Beobachtung von 15 Ausschlägen, die zu einem Mittel vereinigt wurden. Eine *Meßreihe* bestand aus einer Reihe derartiger Messungen an verschiedenen Konzentrationen. Für jede Substanz wurden einige unabhängige Meßreihen aufgenommen.

Da die Vorschaltwiderstände des Hitzdrahtvoltmeters nicht vollkommen selbstinduktionsfrei waren und das Instrument mit Niederfrequenz geeicht war, gaben seine Ausschläge natürlich nicht die absoluten Werte der effektiven Spannung. Da aber immer nur die Messungen bei *einer* Frequenz miteinander verglichen wurden, benötigte man nur die Relativwerte der Spannung, so daß dieser Fehler ohne Bedeutung war. Jedoch war noch ein anderer Umstand in Rechnung zu setzen, durch den die Spannungsmessungen systematisch verfälscht waren, nämlich der, daß die Hochfrequenzwiderstände der Leitungen $a\,c$ und $b\,d$ zum Meßkondensator gegen dessen inneren Widerstand keineswegs zu vernachlässigen waren. Es entstand infolgedessen längs $a\,b$ und $c\,d$ ein von der Konzentration der Füllung dieses Kondensators abhängiger Spannungsabfall.

Um diesen Fehler zu eliminieren, wurde nach Beendigung einer jeden Messung (d. h. nach 15 Ausschlägen), bei eingeschaltetem s_1 und s_3 und ausgeschaltetem s_2 der Voltmeterausschlag durch Regulierung von W_2 und W_3 auf den Kontrollwert E gebracht und dann der Schalter S_1 rasch von $a\,b$ auf $c\,d$ umgelegt, wobei das Voltmeter den etwas kleineren Ausschlag E_1 anzeigte. Durch mehrmaliges Wiederholen und Mitteln wurde dann der wahrscheinlichste Wert von E_1 bestimmt.

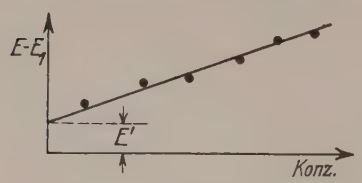

Fig. 4.
Ermittlung der Spannung E'

Dieser Vorgang wurde für jede Konzentration wiederholt und somit die Größe $E—E_1$ als Funktion der Konzentration ermittelt. Wie man aus der Fig. 4 ersieht, ist die entsprechende Kurve eine

Gerade, die aber nicht durch den Koordinatenursprung hindurchgeht. Dies liegt daran, daß der Strom durch das Voltmeter, wenn dieses an cd liegt, einen zusätzlichen kleinen Spannungsabfall E' zwischen ab und cd hervorruft, der auch dann vorhanden ist, wenn $c = 0$ ist, also kein Strom durch den Meßkondensator hindurchfließt.

Die gesuchte Spannung am Meßkondensator E_2 ist demnach unter der plausiblen Annahme, daß die Hochfrequenzwiderstände der Leitungen ab und cd zu dem Umschalter S_1 annähernd gleich und klein gegenüber dem Voltmeterwiderstand waren, gleich $E_1 + E'$.

Die Reihenfolge der gemessenen Konzentrationen wurde mit Absicht nicht systematisch gewählt, um eventuelle systematische Fehler, die von der Zeitdauer der Messungen abhängen, wie z. B. Abbrand an den Unterbrecherkontakten oder Erhöhung der Oberflächenspannung an der Eintauchstelle des kurzen Quarzfadens durch unvermeidliche Verunreinigungen, mit Sicherheit auszuschalten.

Als Vergleichssubstanz diente meist eine $0{,}1\,{}^0/_{00}$-Lösung des betreffenden Elektrolyten, was gegenüber Wasser als Vergleichssubstanz verschiedene Vorteile hat. Zur Vereinfachung der Rechnung ist im folgenden die DEK. der Vergleichslösung willkürlich gleich 80 gesetzt. Messungen an dieser Lösung wurden öfters wiederholt, insbesondere zu Beginn und am Schlusse jeder Meßreihe.

Der Temperaturkoeffizient des Ellipsoidausschlages betrug etwa $+ 0{,}6\,{}^0/_0$ pro Grad. Der Abnahme der DEK. und damit der Kraftwirkung auf das Ellipsoid um $0{,}5\,{}^0/_0$ pro Grad steht eine Zunahme der Fluidität der Lösung um $2{,}3\,{}^0/_0$ pro Grad gegenüber. Da die ballistische Einschaltzeit nicht klein war im Vergleich zur Ausschlagzeit des Ellipsoids, sondern etwa $^2/_3$ derselben betrug, ist es erklärlich, wieso der Temperaturkoeffizient einen anderen Wert hatte als die Differenz der beiden Koeffizienten 2,3 und 0,5.

Die Temperaturerhöhung in F_1, auch bei den konzentrierteren Lösungen, war während der Messungen praktisch gleich Null. Die Temperaturerhöhung während des Einstellens des Hilfskondensators ließ sich bei einiger Geschicklichkeit unter $0{,}1^0$ halten. Beim Umschalten des Voltmeters von ab auf cd traten im Meßkondensator zwar stärkere Temperaturerhöhungen auf und diese bewirkten eine gewisse Veränderung der Leitfähigkeit; auf die Spannungsdifferenz $E—E_1$ hatte dies jedoch keinen erkennbaren Einfluß, was durch besondere Versuche sichergestellt wurde.

Eine Störung ergab sich allerdings durch die Temperaturerhöhung in F_2 beim Messen von konzentrierteren Lösungen. Die Zeit zwischen dem ersten und dem zweiten akustischen Signal war erheblich länger als die ballistische Einschaltzeit, F_2 erwärmte sich

also bei jedem Ausschlag mehr als F_1. Der Hilfskondensator nahm so von Ausschlag zu Ausschlag mehr Strom auf, da die kontrollierte Spannung E konstant gehalten wurde. Hierdurch aber stieg von Ausschlag zu Ausschlag die wirkliche Spannung an F_1, weil der Sender bei kleinerer Leistung eine höhere Spannung lieferte. Dieser Fehler wurde dadurch ausgeglichen, daß nach je fünf Ausschlägen die Spannungsdifferenz zwischen F_1 und F_2 festgestellt und in Prozenten von dem Mittelwert der fünf Ellipsoidausschläge abgezogen wurde.

Vor Beginn der Messungen wurde die ganze Apparatur etwa eine Stunde lang in Betrieb gesetzt und nach dem Einfüllen von frischer Lösung stets etwa eine halbe Stunde gewartet. Das genügte, um Temperaturunterschiede zwischen Lösung und Thermostaten im wesentlichen zum Verschwinden zu bringen, was daran erkennbar war, daß das Ellipsoid längere Zeit hindurch seine Nullage bis auf wenige Millimeter Ausschlag der Spiegelskala einhielt.

§ 4. Die Meßgenauigkeit

Im § 3 wurde bereits erörtert, auf welche Weise die systematischen Fehler der Spannungsmessung beseitigt wurden. Es müssen nun auch noch die durch die begrenzte Ablesegenauigkeit des Voltmeters bedingten zufälligen Fehler der Spannungsmessung abgeschätzt werden. Die Ablesegenauigkeit betrug 0,1 Skt.; bei einer mittleren Spannung von 6,5 Volt (1 Volt = 10 Skt.) beträgt also der Fehler einer Einzelablesung des Voltmeters 0,154 %. Berücksichtigt man, daß für jede DEK.-Messung 15 mal der Voltmeterausschlag und der Nullpunkt abgelesen wurden, daß ferner dreimal die Kondensatoren F_1 und F_2 auf gleiche Spannung eingestellt wurden und daß schließlich noch die Korrektur wegen des Spannungsabfalls längs der Kondensatorzuführungen durch eigene Spannungsmessungen ermittelt werden mußten, dann ergibt sich für den mittleren Fehler der zu einer DEK.-Messung gehörigen Spannungsmessungen 0,14 %. Daraus folgt, da die Spannung in die Formel zur Berechnung der DEK. quadratisch eingeht, für eine DEK.-Messung infolge der Ungenauigkeit der Spannungsermittlung ein mittlerer Fehler von 0,28 %.

Der Fehler einer Einzelablesung auf der Spiegelskala betrug ungefähr 0,1 mm. Dies ergibt bei einem mittleren Ausschlag von etwa 100 mm rund 0,1 %. Da für eine DEK.-Messung wiederum 15 mal der Ausschlag und der Nullpunkt abgelesen wurde, ergibt sich so für dieselbe infolge der Ungenauigkeit der Spiegelskalenablesungen ein mittlerer Fehler von 0,04 %.

Eine weitere, unsystematische Fehlerquelle stellten Ausschlagsschwankungen dar, die offenbar durch Unreinheiten an der Oberfläche des Ellipsoids und durch Schwankungen der Oberflächenkräfte an der Eintauchstelle des Ellipsoidgehänges hervorgerufen wurden, wenn sich die Messungen an einer Substanz über längere Zeit erstreckten.

Um nun eine Abschätzung für die Ausschlagsschwankungen zu gewinnen, wurden an ein und derselben 0,1 $^0/_{00}$igen $MgSO_4$-Lösung 10 Messungen zu je 10 Ausschlägen vorgenommen — unter gleichzeitiger Variation der Eintauchstelle des kurzen Quarzfadens —, von jedem Meßresultat $\bar{\alpha}$ die Differenzen zu den 9 übrigen gebildet und die mittlere Schwankung des Ausschlages von einer Messung zur nächsten ermittelt. Sie ergab sich zu 0,63 $^0/_0$. Da sie offenbar $\sqrt{2}$mal so groß ist, als die mittlere Schwankung gegenüber dem Mittelwert und da ferner die zu erwartende Schwankung bei 15 Einzelausschlägen pro Messung gegenüber 10 solchen Ablesungen $\sqrt{15/10}$ mal kleiner ist, folgt schließlich für die so empirisch bestimmte mittlere Schwankung einer DEK.-Messung der Wert 0,37 $^0/_0$. In diesem Fehler sind die oben berechneten, durch die Ungenauigkeit der Ablesungen bedingten Fehler, die zusammen etwa 0,3 $^0/_0$ ausmachen, bereits inbegriffen. Wie man sieht, spielen also die durch die oben erwähnten Ursachen bedingten Schwankungen des Ausschlages für die Genauigkeit der DEK.-Bestimmung gegenüber den Ablesefehlern nur eine unwesentliche Rolle.

Den wahrscheinlichen Fehler einer DEK.-Messung können wir demnach schließlich etwa gleich 0,25 $^0/_0$ setzen oder gleich $\pm 0{,}2$ Einheiten der DEK. Ein Wert von annähernd dieser Größe ergibt sich auch, wenn man aus allen im folgenden mitgeteilten Meßreihen für alle Konzentrationen, für die mehrere Messungen angestellt wurden, empirisch die Streuung der DEK.-Werte berechnet.

§ 5. Die Meßergebnisse

Da der ballistische Ausschlag α bei gleichbleibender Einschaltzeit proportional dem auf das Ellipsoid durch das Feld ausgeübten Drehmoment und dieses nach Fürth bei der 45°-Stellung des Ellipsoids wieder proportional der DEK. ε der Flüssigkeit und proportional E^2 ist, gilt für ε die Formel

$$\varepsilon = C \cdot \frac{\alpha}{E^2}, \tag{1}$$

worin C eine Apparatkonstante ist.

Bedeutet ε_0 die DEK. der Vergleichssubstanz, so gilt analog

$$\varepsilon_0 = C \cdot \frac{\alpha_0}{E_0^2} \tag{2}$$

und daher folgt aus (1) und (2)

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \frac{\frac{\alpha}{E^2}}{\frac{\alpha_0}{E_0^2}}. \tag{3}$$

Nach dieser Formel wurden die Beobachtungen ausgewertet, indem darin für jede Messung statt α der Mittelwert $\bar{\alpha}$ aus den 15 Einzelablesungen und für E bzw. E_0 der zugehörige Wert E_2 eingesetzt wurde, der sich gemäß dem in § 3 beschriebenen Vorgang aus den Voltmeterablesungen ergab. Schließlich wurden noch alle ε-Werte einer jeden Meßreihe auf Grund des empirisch ermittelten Temperaturkoeffizienten auf die gleiche Temperatur reduziert (ε_r). Als Vergleichslösung diente, wie bereits erwähnt, stets die $0{,}1\,{}^0/_{00}$-Konzentration des betreffenden Elektrolyten.

Alle Messungen wurden nur bei der einen Wellenlänge von 1200 m, also einer Frequenz von $2{,}5 \cdot 10^5$ Hz angestellt; es zeigte sich nämlich, daß bei einer dreimal so großen Frequenz die Selbstinduktionen und Kapazitäten der verschiedenen Teile der Apparatur bereits einen sehr beträchtlichen und unübersehbaren Einfluß auf die Spannungsverteilung hatten und es daher nicht mehr möglich war, die wahre Spannung am Meßkondensator aus den Ablesungen des Voltmeters auch nur einigermaßen sicher zu ermitteln. Bei nicht genügend sorgfältiger Beachtung dieser Umstände würde eine starke Abhängigkeit der DEK. von der Konzentration vorgetäuscht werden.

Die folgenden Figg. 5 und 6 enthalten die Ergebnisse an den wäßrigen Lösungen der Elektrolyte: NaCl, LiCl, NaJ, $Mg(NO_3)_2$, $LaCl_3$, $MgSO_4$ und HCl. Die Konzentrationen sind darin immer in Promille der wasserfreien Substanz angegeben, und die DEK. der Vergleichslösung ist, wie bereits früher erwähnt wurde, willkürlich gleich 80 gesetzt. Die HCl-Messungen dienten nicht eigentlich zur DEK.-Ermittlung, sondern zur Kontrolle darüber, ob nicht etwa durch die verschiedenen Stromdichten am Ellipsoid oder damit zusammenhängende Vorgänge ein Gang der Ausschläge mit der Konzentration verursacht wird. Setzt man die DEK. der $0{,}2\,{}^0/_{00}$-HCl-Lösung gleich der des reinen Wassers, so kann man sagen, daß eine solche systematische Verfälschung der übrigen Meßresultate nicht vorhanden ist.

§ 6. Diskussion der Ergebnisse

Aus den vorstehend wiedergegebenen Messungen ergibt sich zunächst mit Sicherheit, daß die von den Prager Autoren früher gefundenen starken Änderungen der DEK. mit der Konzentration und die Minima *nicht* vorhanden sind, wie auch schon die im § 1 er-

wähnten provisorischen Messungen von Frl. Lederer gezeigt hatten. In dem untersuchten Konzentrationsbereich lassen sich die Beobachtungspunkte zwanglos durch gerade Linien ausgleichen, die in den

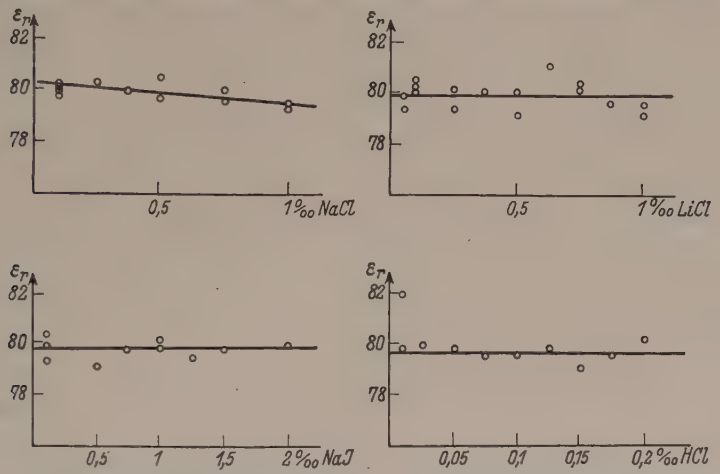

Fig. 5. Resultate der Messungen an den ein-einwertigen Elektrolyten

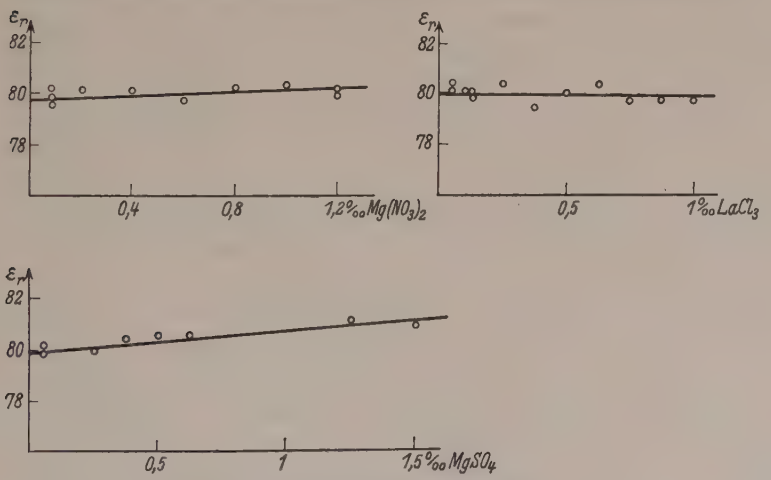

Fig. 6. Die übrigen Meßresultate

Figg. 5 und 6 eingetragen sind. Diese verlaufen für die Lösungen von LiCl, NaJ, $LaCl_3$ und HCl parallel mit der Abszissenachse, weisen also darauf hin, daß hier in dem untersuchten Bereich keine Änderung der DEK. mit der Konzentration stattfindet. Bei NaCl ist die Gerade absteigend, bei $Mg(NO_3)_2$ und bei $MgSO_4$ ansteigend, was bei den maximalen untersuchten Konzentrationen für NaCl eine Abnahme der DEK. um 0,8 Einheiten, bei $Mg(NO_3)_2$ eine schwache

Zunahme um etwa 0,3 und bei $MgSO_4$ eine stärkere Zunahme um 1,2 Einheiten beinhaltet.

Die beobachtete Erniedrigung der DEK. bei NaCl steht in gutem Einklang mit den in § 1 erwähnten Messungen von G. Fischer, der für die gleiche Konzentration eine Erniedrigung um rund 0,9 Einheiten erhielt. Die gleiche Erniedrigung ergibt sich jedoch bei ihm auch für NaJ, während hier für diese Substanz keine meßbare Änderung der DEK. beobachtet wurde. Auch alle übrigen, in der Arbeit von W. Schaffeld untersuchten Neutralsalze zeigen in Abhängigkeit von der Äquivalentkonzentration fast den gleichen Verlauf, wie ihn G. Fischer für NaCl und NaJ gefunden hat, während die weiteren, in der vorliegenden Arbeit untersuchten Neutralsalze entweder keine Änderung oder eine Erhöhung der DEK. ergeben. Schließlich ist auch ein Widerspruch zwischen der hier beobachteten Konzentrationsunabhängigkeit der DEK. von HCl und der starken Erniedrigung der DEK. bei den von Schaffeld gemessenen Säuren vorhanden.

Es scheint nicht ausgeschlossen, daß diese Unterschiede darauf zurückzuführen sind, daß bei der von Fischer und Schaffeld verwendeten Orthmannschen Apparatur zwischen dem Meßkondensator und dem zur Spannungsmessung verwendeten Vergleichskondensator ein Spannungsabfall besteht, der mit wachsendem Strom durch den Meßkondensator, also mit wachsender Konzentration der zu untersuchenden Lösung anwächst, während die Vergleichslösung immer die gleiche Konzentration hat. Wie man sich leicht überlegen kann, muß dieser Effekt, wenn er nicht in Rechnung gesetzt wird, eine mit wachsender Leitfähigkeit der untersuchten Lösung größer werdende Erniedrigung der DEK. derselben vortäuschen. Fischer und Schaffeld erwähnen zwar, daß dieser Effekt möglicherweise eine Rolle spielen könnte, scheinen ihn aber nicht quantitativ berechnet zu haben. Nach den bei der vorliegenden Untersuchung gemachten Erfahrungen scheint es durchaus plausibel, daß die Hochfrequenzwiderstände der Verbindungsleitungen zwischen den beiden Kondensatoren so groß waren, daß die gefundenen DEK.-Erniedrigungen durch sie nur vorgetäuscht sind. Dafür spricht auch der Umstand, daß die Erniedrigungen für die bei gleicher Äquivalentkonzentration viel stärker leitenden Säuren wesentlich größer waren, als für die Neutralsalze.

Die Theorie der Elektrolyte läßt zwei Effekte erwarten, die eine Konzentrationsabhängigkeit der DEK. von Elektrolytlösungen verursachen. Der Hydratations- oder Sättigungseffekt beruht auf dem zuerst von Blüh[1]) ausgesprochenen Gedanken, daß die Ionen in einer

1) O. Blüh, Ztschr. f. Phys. **25**. S. 220. 1924.

Lösung richtend auf die umgebenden Wasserdipole wirken und so deren Einstellungsmöglichkeit gegenüber einem äußeren elektrischen Felde beschränken, die DEK. also erniedrigen. Die Theorie ist von Sack[1]) genauer ausgearbeitet worden, doch scheint es auf Grund der neueren Ansichten über die Konstitution der Flüssigkeiten fraglich, ob seine Rechnungen zu quantitativ richtigen Ergebnissen führen.

Der auf der Relaxation der Ionenwolken beruhende Debye-Falkenhagen-Effekt[2]) läßt hingegen eine Erhöhung der DEK. von Elektrolytlösungen mit wachsender Konzentration erwarten; die Theorie wurde insbesondere von Falkenhagen quantitativ ausgeführt und nach den von ihm angegebenen Formeln[2]) kann die DEK. für jeden Elektrolyten berechnet werden. Diese Theorie ist bei hohen Frequenzen (größer als 10^7 Hz) in neuerer Zeit verschiedentlich geprüft worden, wobei sie sich im wesentlichen bestätigen ließ. Eine Prüfung der Theorie bei niedrigeren Frequenzen bis herab zu 10^6 Hz mit einer Brückenmethode wurde unlängst in einer sehr sorgfältigen Untersuchung von E. Fischer[3]) durchgeführt. Für alle untersuchten Lösungen ergab sich bei nicht zu großen Konzentrationen eine sehr gute Übereinstimmung mit der Theorie, und zwar bei allen verwendeten Frequenzen. Fischer schließt hieraus, daß der Sättigungseffekt nicht existiert, doch scheint dieser Schluß nicht zwingend, da dieser Effekt ebenfalls, wie der Debye-Falkenhagen-Effekt, frequenzabhängig sein könnte, derart daß er mit wachsender Frequenz abnimmt und bei 10^6 Hz nicht mehr in Erscheinung tritt[4]). Es wäre daher durchaus möglich, daß bei der in der vorstehenden Untersuchung benützten Frequenz von $2{,}5 \cdot 10^5$ Hz beide Effekte überlagert wären, was erklären würde, wieso bei einigen der untersuchten Lösungen eine Zunahme, bei anderen ein Gleichbleiben, bei anderen wieder eine Abnahme der DEK. mit wachsender Konzentration beobachtet wurde.

Rechnet man nach den von Falkenhagen angegebenen Formeln die auf Grund des Debye-Falkenhagen-Effektes zu erwartende Erhöhung der DEK. für die jeweils höchste gemessene Konzentration aus, so ergeben sich die Werte der folgenden Tabelle.

Die beobachteten Werte sind durchwegs niedriger als die berechneten und die Differenzen zwischen beiden liegen außerhalb der Fehlergrenzen. Diese Differenzen müßten demnach den Sättigungseffekt darstellen. Für diese Deutung spricht vielleicht auch der Um-

1) H. Sack, Phys. Ztschr. **28**. S. 199. 1927.
2) H. Falkenhagen, Elektrolyte, Leipzig 1932.
3) E. Fischer, Dissertation, Berlin 1935; Phys. Ztschr. **17**. S. 585. 1935.
4) Vgl. u. a. auch R. Fürth, Phys. Ztschr. **32**. S. 184. 1931.

Substanz	Konz. in ‰	Normalität	$\varepsilon - \varepsilon_0$
NaCl	1,0	0,017	0,49
LiCl	1,0	0,024	0,58
NaJ	2,0	0,013	0,43
HCl	0,2	0,006	0,28
$Mg(NO_3)_2$	1,2	0,016	0,98
$LaCl_3$	1,0	0,012	1,20
$MgSO_4$	1,5	0,025	3,34

stand, daß die größte beobachtete DEK.-Erhöhung bei $MgSO_4$ auftrat, wo auch die größte Erhöhung nach der Debye-Falkenhagenschen Theorie zu erwarten ist. Einen eingehenderen Vergleich zwischen Experiment und Theorie vorzunehmen würde sich erst lohnen, wenn eine einwandfreie Berechnung des Sättigungeffektes vorliegt.

Zusammenfassung

Die Fürthsche Ellipsoidmethode zur Bestimmung der DEK. leitfähiger Flüssigkeiten wurde für Messungen mit einer Frequenz von $2{,}5 \cdot 10^5$ Hz ausgebaut. Die Apparatur wurde eingehend im Hinblick auf die mannigfachen Fehlerquellen untersucht und von diesen weitgehend befreit; mit besonderer Sorgfalt geschah die Ermittlung der wahren Spannung am Meßkondensator. Es wurde durchwegs mit der von Orthmann angegebenen ballistischen Methode gearbeitet.

Auf diese Weise konnten die DEK. von Lösungen bis zu Leitfähigkeiten von $2 \cdot 10^{-3}\ \Omega^{-1}\,\mathrm{cm}^{-1}$ mit einer Genauigkeit von $\pm 0{,}2$ Einheiten gemessen werden. Untersucht wurden die wäßrigen Lösungen von NaCl, LiCl, NaJ, HCl, $Mg(NO_3)_2$, $LaCl_3$, $MgSO_4$.

In dem untersuchten Bereich lassen sich die DEK. als lineare Funktionen der Konzentration darstellen, die ansteigen bei $Mg(NO_3)_2$ und $MgSO_4$ und abfallen bei NaCl; bei den übrigen Substanzen bleibt die DEK. innerhalb der Fehlergrenzen konstant. Damit sind die früheren von den Prager Autoren mit der Ellipsoidmethode erhaltenen Resultate als unrichtig erwiesen; die früher beobachteten starken DEK.-Änderungen bei kleinen Konzentrationen lassen sich auf sekundäre Wirkungen infolge der Platinierung des Ellipsoids zurückführen.

Herrn Prof. R. Fürth sei für die Anregung zu dieser Arbeit, die unter seiner Leitung durchgeführt wurde, bestens gedankt, ebenso Herrn Privatdozent Dr. O. Blüh und den anderen Herren des Institutes für ihre wertvolle Hilfe.

Curriculum vitae

Ich bin am 20. April 1908 in Berlin-Schmargendorf als Sohn des Josef Lin und seiner Ehefrau Dora geboren. Der Wohnort des Vaters ist jetzt Haifa.

Bis zu meinem 15. Lebensjahre besuchte ich das Realgymnasium zu Dinslaken im Rheinland, das ich mit der Obersekundareife verließ. Später absolvierte ich eine höhere Maschinenbauschule, die „Beuth-Schule" in Berlin. Vom Sommersemester 1930 an besuchte ich die „Technische Hochschule" zu Charlottenburg, woselbst ich nach Ablegen einer Ergänzungsprüfung, die mir das fehlende Abiturium ersetzen sollte, als ordentlicher Studierender aufgenommen wurde und bis zum Frühjahr 1933 an der „Fakultät für allgemeine Wissenschaften" Physik studierte.

Während des Wintersemesters 1933/34 und des darauf folgenden Sommersemesters war ich in Prag an der „Deutschen Universität" als außerordentlicher Hörer inskribiert.

Zu dieser Zeit begann ich unter Leitung von Herrn Professor R. Fürth mit der Bearbeitung meiner Dissertation, welche ich im Oktober 1935 abschloß. Während des Wintersemesters 1935/36 war ich an der Universität Basel, Fakultät phil. II, immatrikuliert.

Bei den folgenden Herren Dozenten hatte ich Vorlesungen und Übungen belegt:

Technische Hochschule Charlottenburg: Hamel, Rothe, Fuchs, Jacobsthal, Westphal, Hertz, Becker, Grüss, Terres, Hofmann, Volmer, Orlich, Fassbender, Dubislav.

Deutsche Universität Prag: Baerwald, Löwner, Fürth, Franck, Blüh.

Universität Basel: Ostrowski, Matthies, Bernoulli, Zickendraht, Miescher, Bürki.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig 103/36